

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-286310

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/66
G01R 31/302
H01J 37/04
H01J 37/05
H01J 37/09
H01J 37/22
H01J 37/244
H01J 37/28

(21)Application number : 11-091269

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 31.03.1999

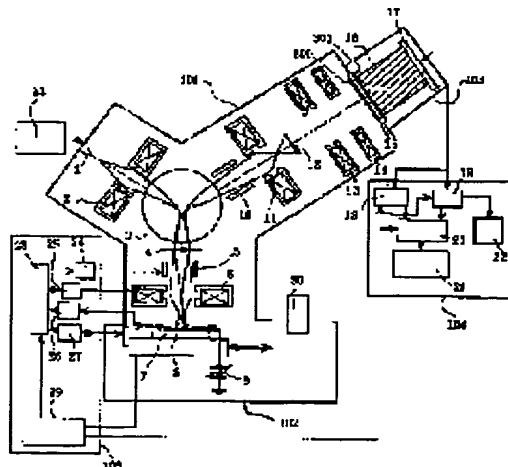
(72)Inventor : SHINADA HIROYUKI
TAKATO ATSUKO
MURAKOSHI HISAYA
YAJIMA YUSUKE
NOZOE MARI
HASEGAWA MASAKI
UMEMURA KAORU
KATAGIRI SOUICHI
SUGIYAMA KATSUYA
KURODA KATSUHIRO
USAMI YASUTSUGU

(54) METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTING PATTERN DEFECTS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To speed up inspection related to an inspection apparatus, which with an electron beam inspects defects, foreign materials, residues, and steps, etc., for the same designed pattern on a wafer in a manufacturing process for a semiconductor device.

SOLUTION: The surface of a semiconductor sample 7 is irradiated with an electron beam having a constant area (area beam), and the reflected electrons from the sample surface is imaged with an imaging lens 11, so that the images of plurality of regions on the surface of the semiconductor sample 7 are acquired, which are stored in image storage parts 18 and 19. The stored images in the plurality of regions are compared to each other, to measure the defects in the region as well as their positions. The electron beam projected on the semiconductor sample surface is an area beam, so the inspection is made faster and with higher efficiency as compared with the case using a dot beam.



LEGAL STATUS

3/13/4

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-286310

(P2000-286310A)

(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 L	21/66	H 0 1 L 21/66	A 2 G 0 3 2
G 0 1 R	31/302	H 0 1 J 37/04	A 4 M 1 0 6
H 0 1 J	37/04	37/05	5 C 0 3 0
	37/05	37/09	A 5 C 0 3 3
	37/09	37/22	5 0 2 Z 9 A 0 0 1
審査請求 未請求 請求項の数53 O L (全 21 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平11-91269

(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 品田 博之

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 高藤 敦子

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン欠陥検査方法および検査装置

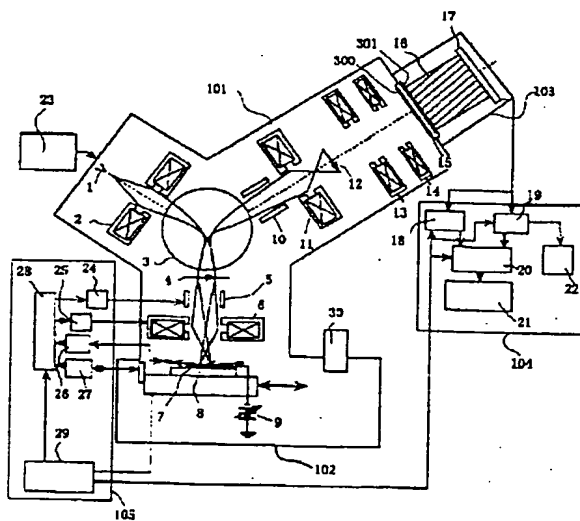
(57) 【要約】

【課題】 半導体装置の製造過程にあるウェハ上の同一設計パターンの欠陥、異物、残渣および段差等を電子線により検査する装置において、検査の高速化を実現すること。

【解決手段】 半導体試料7の表面に一定の面積を持った電子ビーム(面積ビーム)を照射し、試料表面からの反射電子を結像レンズ11により結像して、半導体試料7表面の複数の領域の画像を取得して画像記憶部18, 19に記憶させる。この記憶された複数の領域の画像同士を比較することによって、上記領域内における欠陥の有無および欠陥の位置を計測する。

【効果】 半導体試料表面に照射する電子ビームを面積ビームとしたので、点状ビームを用いる場合に比べ、検査の高速化、効率化が図れる。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】電子源からの電子ビームを試料表面の一定の面積領域に拡げて同時に照射する電子ビーム照射手段と、該面積領域より得られる後方散乱電子または二次電子を結像させて上記面積領域についての拡大像を形成する像形成手段と、上記試料表面の所望位置に上記電子ビームが照射されるよう上記試料を移動させる試料移動手段と、上記像形成手段により形成された上記面積領域についての上記拡大像を画像信号に変換する画像信号取得手段と、該画像信号取得手段により取得された上記試料表面上の面積領域についての画像信号を他の面積領域についての画像信号と比較して上記一面積領域におけるパターン欠陥を検出する欠陥検出手段とを有してなることを特徴とするパターン欠陥検査装置。

【請求項2】電子ビームを半導体基板の所望の面積を持つ一領域に照射するための電子ビーム発生手段と、上記電子ビームを所望の断面形状および電流量に収束させる収束手段と、上記電子ビームの照射により上記基板から発生する二次電子または反射電子を結像させ上記半導体基板の当該領域の拡大像を形成する結像系と二次電子または反射電子を上記電子ビームの光軸から離すための偏向系とからなる電子光学系と、上記半導体基板を載せ上記電子ビーム照射位置を所望の位置に合わせるための移動可能なステージ手段と、上記結像した半導体基板の当該領域の拡大像を電気信号に変換するための画像検出手段と、上記画像検出手段で得られる画像に所望のしきい値を上回る輝度の変動が存在するか否かを判定する画像判定手段とからなる半導体装置の欠陥検査装置であって、上記電子ビームを所望のエネルギーに減速させて上記半導体基板に照射させるための可変減速機構と、減速機構を制御する手段とを有し、上記画像判定手段で上記試料の当該領域の主に段差に起因する欠陥を所望のレベルで高速に検出することを特徴とした半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項3】上記の電子ビーム照射手段は、上記電子源からの電子ビームを上記試料表面に照射する際に、該電子ビームを減速するためのビーム減速機構を含んでなることを特徴とする請求項1に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項4】上記のビーム減速機構は、上記試料表面に負電位を印加することによって、該試料表面に照射される上記電子ビームを減速するものであることを特徴とする請求項2および3に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項5】上記のビーム減速機構は、上記試料に照射される上記電子ビームが、上記試料表面には入射せず、該試料表面の極近傍において反射されるように、上記電子ビームを減速するものであることを特徴とする請求項2から4のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項6】上記の電子ビーム減速機構は3段以上の電

極からなる静電レンズ系であることを特徴とする請求項2から5のいずれかに記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項7】上記電子光学系において、上記減速制御手段は上記減速機構の最終段電極の電位と中間電極の電位とを独立に制御し、検出可能な段差高さと検出不要な表面粗さのサイズを調節可能に構成したことを特徴とする請求項2から6のいずれかに記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項8】上記の試料移動手段は、上記試料をほぼ等速で連続的に移動させるものであることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項9】上記の試料移動手段は、上記試料を載せてほぼ等速で連続的に移動する試料ステージと該試料ステージの位置を計測するステージ位置計測機構とを備え、上記の電子ビーム照射手段は、上記ステージ位置計測機構からの計測信号に基づいて上記電子ビームが上記ステージの連続移動に拘らず一定時間の間上記試料表面の同一領域に固定照射されるよう上記電子ビームを上記ステージの移動に連動して偏向制御する電子ビーム偏向制御機構を備えてなることを特徴とする請求項8に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項10】上記の画像信号取得手段は、上記像形成手段により形成された上記面積領域についての拡大像を蛍光板上に投射することによって光学像に変換し、該光学像を光学画像検出素子の受光面上に投射することによって該光学画像検出素子からの出力信号として上記画像信号を取得するものであることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項11】上記の光学画像検出素子は、CCDセンサまたはTDIセンサであることを特徴とする請求項10に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項12】上記の光学画像検出素子は、検出した画像信号を並列に多チャンネルで読み出せるものであることを特徴とする請求項10または11に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項13】上記の画像信号取得手段は、上記像形成手段により形成された上記面積領域についての拡大像を電子に対して検出感度を有する電子画像検出素子の受光面上に直接投射することによって該電子画像検出素子の出力信号として上記画像信号を取得するものであることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項14】上記の電子画像検出素子は、CCDセンサまたはTDIセンサであることを特徴とする請求項13に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項15】上記の電子画像検出素子は、検出した画像信号を並列に多チャンネルで読み出すものであることを特徴とする請求項13または14に記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項16】上記の光学画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての光学像の大きさと略等しく設定されていることを特徴とする請求項10～12のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項17】上記の電子画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての電子像の大きさと略等しく設定されていることを特徴とする請求項13～15のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項18】上記の光学画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての光学像の大きさとより大きく設定されていることを特徴とする請求項10～12のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項19】上記の電子画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての電子像の大きさとより大きく設定されていることを特徴とする請求項13～15のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項20】上記のビーム減速機構は、該ビーム減速機構により減速された上記電子ビームの照射により上記試料表面から放出される上記後方散乱電子のエネルギー分散が上記像形成手段によって形成される上記試料表面の拡大像の分解能に殆ど影響を及ぼさなくなるようなエネルギー範囲まで上記電子ビームを減速するものであることを特徴とする請求項2～5のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項21】上記の像形成手段は、上記試料表面への上記電子ビームの照射によって該試料表面から放出される後方散乱電子をエネルギー分別するためのエネルギーフィルタを備えてなり、それにより、ある特定のエネルギー幅内の後方散乱電子のみによって上記面積領域についての拡大像が形成されるように構成されていることを特徴とする請求項1～20のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項22】上記の電子ビーム照射手段は、上記電子源からの電子ビームを矩形絞り開口を通して矩形断面形状のビームに成形してから、該矩形断面形状ビームを上記試料表面に照射するよう構成されていることを特徴とする請求項1～21のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項23】上記の像形成手段は、さらに、上記試料表面への上記電子ビームの照射により該電子ビーム照射領域から放出される後方散乱電子または二次電子によって上記電子ビーム照射領域についての逆空間像を形成する機能を備えてなり、上記の画像信号取得手段は上記逆空間像を画像信号に変換する機能をさらに備えてなり、上記欠陥検出手段は、上記画像信号取得手段により取得された上記試料表面上の一の面積領域についての逆空間

像の画像信号と他の面積領域についての逆空間像の画像信号とを比較して上記一の面積領域におけるパターン欠陥の有無を検出する機能をさらに備えてなることを特徴とする請求項1～22のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項24】電子源からの電子ビームを試料表面の第1の面積領域に拡げて同時に照射する第1の電子ビーム照射段階と、上記第1の面積領域から放出された後方散乱電子または二次電子を結像させて上記第1の面積領域についての第1の電子像を形成する第1の電子像形成段階と、上記第1の面積領域についての上記第1の電子像の画像信号を取得する第1の画像信号取得段階と、上記電子ビームの照射位置を上記試料表面の上記第1の面積領域から第2の面積領域へと移動させる照射位置移動段階と、上記電子源からの上記電子ビームを上記試料表面の上記第2の面積領域に拡げて同時に照射する第2の電子ビーム照射段階と、上記第2の面積領域から放出された後方散乱電子または二次電子を結像させて上記第2の面積領域についての第2の電子像を形成する第2の電子像形成段階と、上記第2の面積領域についての上記第2の電子像の画像信号を取得する第2の画像信号取得段階と、上記第1の画像信号取得段階において取得された上記第1の面積領域についての上記第1の電子像の画像信号と上記第2の画像信号取得段階において取得された上記第2の面積領域についての上記第2の電子像の画像信号とを比較して、上記第1の面積領域または上記第2の面積領域におけるパターン欠陥を検出する欠陥検出段階とを少なくとも含んでなることを特徴とするパターン欠陥検査方法。

【請求項25】上記第1および第2の電子ビーム照射段階における上記電子ビームの上記試料表面への照射に際して、上記電子源からの上記電子ビームが上記試料表面に到達する前に、上記電子ビームを減速してから上記試料表面に照射することを特徴とする請求項24に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項26】上記電子ビームの減速は、上記試料表面に負電位を印加することにより行なわれることを特徴とする請求項25に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項27】上記電子ビームの減速は、上記試料表面に照射される上記電子ビームが、上記試料表面には入射せず、該試料表面の極近傍において反射されるような条件の下に行われることを特徴とする請求項25または26に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項28】上記第1および第2の電子ビーム照射段階における上記電子ビームの上記試料表面への照射は、上記試料を連続的に移動させながら行なわれることを特徴とする請求項24～27のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項29】上記第1および第2の電子ビーム照射段階における上記電子ビームの上記試料表面への照射は、

上記試料の連続的な移動にも拘らず一定時間の間上記試料表面の同一領域に固定照射されるように上記電子ビームを上記試料の移動と連動して偏向制御しながら行われることを特徴とする請求項28に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項30】上記第1および第2の画像信号取得段階における画像信号の取得は、上記第1および第2の電子像形成段階において得られた上記第1および第2の電子像を蛍光板上に投射することによって一旦光学像に変換し、次いで、上記光学像を光学画像検出素子の受光面上に投射して上記光学像を上記画像信号に変換することにより行なわれることを特徴とする請求項24～29のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項31】上記光学画像検出素子は、CCDセンサまたはTDIセンサであることを特徴とする請求項30に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項32】上記光学画像検出素子は、検出した画像信号を多チャンネルで同時並列に読み出しできるものであることを特徴とする請求項30または31に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項33】上記第1および第2の画像信号取得段階における画像信号の取得は、上記第1および第2の電子像形成段階において得られた上記第1および第2の電子像を電子に対して検出感度を有する電子画像検出素子の受光面上に直接投射することによって上記電子像を上記画像信号に変換することにより行なわれることを特徴とする請求項24～29のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項34】上記電子画像検出素子は、CCDセンサまたはTDIセンサであることを特徴とする請求項33に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項35】上記電子画像検出素子は、検出した画像信号を多チャンネルで同時並列に読み出しできるものであることを特徴とする請求項33または34に記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項36】上記光学画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての光学像の大きさとほぼ等しく設定されていることを特徴とする請求項30～32のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項37】上記電子画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての電子像の大きさとほぼ等しく設定されていることを特徴とする請求項33～35のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項38】上記光学画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての光学像の大きさよりも大きく設定されていることを特徴とする請求項30～32のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項39】上記電子画像検出素子の受光面の大きさが、該受光面上に投射される上記試料表面上の一定の面積領域についての電子像の大きさよりも大きく設定されていることを特徴とする請求項33～35のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項40】上記した電子ビームの減速は、減速後の上記電子ビームの照射により上記試料表面から放出される後方散乱電子のエネルギー分散が該後方散乱電子により形成される上記試料表面の電子像の分解能に実質上影響を及ぼさなくなるようなエネルギー範囲にまで上記電子ビームを減速するものであることを特徴とする請求項25～27のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項41】上記した第1および第2の電子像形成段階における電子像の形成に際しては、上記試料表面への上記電子ビームの照射によって該試料表面から放出される後方散乱電子をエネルギーフィルタを用いてエネルギー分別し、ある特定のエネルギー幅内の後方散乱電子のみにより上記電子像を形成することを特徴とする請求項24～40のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項42】上記した第1および第2の電子ビーム照射段階における上記電子ビームの照射は、上記電子源からの電子ビームを矩形絞り開口を通して矩形断面形状のビームに成形してから、該矩形断面形状のビームを上記試料表面に照射することにより行なわれることを特徴とする請求項24～41のいずれかに記載のパターン欠陥検査方法。

【請求項43】電子源からの電子ビームを試料表面の第1の面積領域に拡げて同時に照射する第1の電子ビーム照射段階と、上記第1の面積領域から放出された後方散乱電子または二次電子を結像させて上記第1の面積領域についての逆空間像を形成する第1の逆空間像形成段階と、上記第1の面積領域についての上記第1の逆空間像の画像信号を取得する第1の画像信号取得段階と、上記電子ビームの照射位置を上記試料表面の上記第1の面積領域から第2の面積領域へと移動させる照射位置移動段階と、上記電子源からの上記電子ビームを上記試料表面の上記第2の面積領域に拡げて同時に照射する第2の電子ビーム照射段階と、上記第2の面積領域から放出された後方散乱電子または二次電子を結像させて上記第2の面積領域についての第2の逆空間像を形成する第2の逆空間像形成段階と、上記第2の面積領域についての上記第2の逆空間像の画像信号を取得する第2の画像信号取得段階と、上記第1の画像信号取得段階において取得された上記第1の面積領域についての上記第1の逆空間像の画像信号と上記第2の画像信号取得段階において取得された上記第2の面積領域についての上記第2の逆空間像の画像信号とを比較して上記第1の面積領域または上記第2の面積領域におけるパターン欠陥を検出する欠陥検出段階とを少なくとも含んでなることを特徴とするパターン欠陥検査方法。

【請求項44】電子ビームを半導体基板の所望の面積を持つ一領域に照射するための電子ビーム発生手段と、上記電子ビームを所望の断面形状および電流量に収束させる収束手段と、上記電子ビームを所望のエネルギーに減速させて上記半導体基板に照射させるための可変減速手段と、減速手段を制御する手段と、上記電子ビームの照射により上記基板から発生する二次電子または反射電子を結像させ上記半導体基板の当該領域の拡大像を形成する結像系と、二次電子または反射電子を上記電子ビームの光軸から離すための偏向系とからなる電子光学系と、上記半導体基板を載せ上記電子ビーム照射位置を所望の位置に合わせるための移動可能なステージ手段と、上記結像した半導体基板の当該領域の拡大像を電気信号に変換するための第1の検出手段と、上記検出手段で得られる画像に所望のしきい値を上回るコントラストの変動が存在するか否かを判定する画像判定手段と、上記電子ビームを所望の位置に偏向する偏向系と、上記試料から発生する上記二次電子または反射電子を検出する第2の検出手段と、上記電子ビームの上記偏向器の走査偏向信号と上記第2の検出手段の検出信号との同期を取る走査画像形成用制御回路系と、上記試料から発生する二次電子および反射電子を第1または第2の検出手段のうちの所望の検出手段へ誘導する偏向手段と、偏向手段を制御する偏向制御手段と、上記試料上の二つの領域で上記走査画像を取得し両者を比較する画像比較処理回路とを具備し、上記検出手段および上記電子ビームの照射条件、上記偏向条件等々を制御することで半導体装置の所望の欠陥を検査することを特徴とする半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項45】上記第2の検出手段が半導体検出器であることを特徴とする請求項第44記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項46】上記検出手段への電子誘導用偏向系が電界と磁界を重畳させた偏向系であり、一次ビームにほとんど影響を与えずに試料からの二次電子および反射電子を偏向することを特徴とする請求項第44または45に記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項47】上記電子光学系において、少なくとも上記電子ビームの発生手段、収束手段が2組以上あり、少なくとも1つの上記ビームに対しては試料から出てくる二次電子または反射電子を主に第1の検出手段で検出し、他の少なくとも1つの上記ビームに対しては第2の検出手段で電子を検出するように上記電子ビーム発生手段、収束手段、二次電子および反射電子偏向手段、検出手段等を制御する制御手段を有し、上記試料基板の表面状態および検査したい欠陥の種類に応じてビームを選択して照射する選択手段を有することを特徴とする請求項第44から46のいずれかに記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項48】上記第1と第2の電子光学系の選択手段

および二次電子および反射電子の偏向制御手段が、試料基板の状態に応じ、平坦モードと凹凸モードとで使い分ける手段であり、上記平坦モードでは上記第1の検出手段で像形成し、上記凹凸モードでは上記第2の検出手段で像形成するように選択、制御することを特徴とする請求項44から47のいずれかに記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項49】上記複数の電子ビームの内の少なくとも1つのビームが上記画像形成に関与せず、上記試料基板の帯電状態を制御するために試料に照射し、他の電子ビームにより画像を形成し検査することを特徴とする請求項44から48のいずれかに記載の半導体装置の欠陥検査装置。

【請求項50】上記の電子ビーム収束手段は、上記電子源からの電子ビームを矩形絞り開口または円形絞り開口を通して所望の断面形状のビームに成形してから、上記試料表面に照射するよう構成されていることを特徴とする請求項1～49のいずれかに記載のパターン欠陥検査装置。

【請求項51】電子ビームを半導体基板の所望の面積を持つ一領域に照射するための電子ビーム発生工程と、上記電子ビームを所望の断面形状および電流量に収束させる収束工程と、上記電子ビームを所望のエネルギーに減速させて上記半導体基板に照射させるための可変減速工程と、減速手段を制御する工程と、上記電子ビームの照射により上記基板から発生する二次電子または反射電子を結像させ上記半導体基板の当該領域の拡大像を形成する結像工程と二次電子または反射電子を上記電子ビームの光軸から離すための偏向工程と、上記半導体基板を載せ上記電子ビーム照射位置を所望の位置に合わせるためのステージ移動工程と、上記結像した半導体基板の当該領域の拡大像を電気信号に変換するための画像検出工程と、上記画像検出工程で得られる画像に所望のしきい値を上回るコントラストの変動が存在するか否かを判定する画像判定工程とからなる半導体装置の欠陥検査方法であって、上記画像判定工程で上記試料の当該領域の主に段差に起因する欠陥を所望のレベルで高速に検出することを特徴とした半導体装置の欠陥検査方法。

【請求項52】上記半導体装置の欠陥検査方法において、被検査試料ウェハの表面状態に応じて、上記試料ウェハの少なくとも異なる2領域の画像を取得して比較し、欠陥判定をするために画像形成遅延工程と画像比較工程とを有して画像比較結果から欠陥判定を行うことも可能にしたことを特徴とする請求項51に記載の半導体装置の欠陥検査方法。

【請求項53】電子ビームを半導体基板の所望の面積を持つ一領域に照射するための電子ビーム発生工程と、上記電子ビームを所望の断面形状および電流量に収束させる収束工程と、上記電子ビームを所望のエネルギーに減速させて上記半導体基板に照射させるための可変減速工

程と、減速手段を制御する工程と、上記電子ビームの照射により上記基板から発生する二次電子または反射電子を結像させ上記半導体基板の当該領域の拡大像を形成する結像工程と、二次電子または反射電子を上記電子ビームの光軸から離すための偏向工程と、上記半導体基板を載せ上記電子ビーム照射位置を所望の位置に合わせるためのステージ移動工程と、上記結像した半導体基板の当該領域の拡大像を電気信号に変換するための第1の検出工程と、上記検出工程で得られる画像に所望のしきい値を上回るコントラストの変動が存在するか否かを判定する画像判定工程と、上記電子ビームを所望の位置に偏向する偏向工程と、上記試料から発生する上記二次電子または反射電子を検出する第2の検出工程と、上記電子ビームの上記偏向器の走査偏向信号と上記第2の検出工程の検出信号との同期を取る走査画像形成用制御工程と、上記試料から発生する二次電子および反射電子を第1または第2の検出工程のうちの所望の検出工程へ誘導する偏向工程と、偏向手段を制御する偏向制御工程と、上記試料上の二つの領域で上記走査画像を取得し両者を比較する画像比較処理工程とを有し、上記検出工程および上記電子ビームの照射条件、上記偏向条件等々を制御することで半導体装置の所望の欠陥を検査することを特徴とする半導体装置の欠陥検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、試料(半導体装置等)の表面状態を検査する方法および装置に関し、特に、電子ビームを用いて、半導体装置表面の微細なパターン欠陥および段差欠陥を高感度、高分解能で、かつ高速に画像化して検査することのできる検査方法および検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体装置の製造過程において、ウェハ上に形成された回路パターンの欠陥を比較検査により検出する検査方法として以下の方法が既に実用化されている。すなわち1つのウェハ上の2つ以上の同種LSIパターンの画像を光を用いて取得し、これら複数の画像を比較してパターン欠陥の有無等を検査する方法である。この検査方法の概要は「月刊セミコンダクタワールド」1995年8月号、pp. 114-117に述べられている。このような光学的検査方法で半導体装置の製造過程におけるパターン欠陥を検査した場合、光が透過してしまうシリコン酸化膜や感光性レジスト材料等の残渣は検出できなかった。また、光学系の分解能以下となるエッチング残りや微小導通孔の非開口不良等も検出できなかった。また、ウェハ平坦化後の段差に起因する欠陥の効率的な検出も困難であった。

【0003】このような光学的検査方法における問題点を解決するために、電子線を用いたパターンの比較検査方法が、特開昭59-192943号公報、J. Vac. Sci. Tech.

B, Vol. 9, No. 6, pp. 3005-3009 (1991), J. Vac. Sci. Tech. B, Vol. 10, No. 6, pp. 2804-2808 (1992), SPIE Vol. 2439, pp. 174-183, および 特開平05-258703号公報等に記載されている。そこでは、実用的な検査速度を得るために非常に高速にパターンの画像を取得する必要がある。そして、高速で取得した画像のS/N比を確保するために、通常の走査型電子顕微鏡の100倍以上(10nA以上)のビーム電流を用いている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記した電子線を用いた従来の検査技術では、検査可能なS/N比を維持した画像を形成するために、電子ビームを大電流化している。しかし、電子ビームを点状に絞ってこの「点ビーム」を試料表面上で平面状(2次元的)に走査しているがために、高速化(検査時間の短縮)には限界があった。また、使用電子源の輝度や空間電荷効果等によって、使用電子ビームの大電流化にも限界がある。例えば、0.1 μ m程度の分解能を得ようとした場合は、使用電子ビーム電流は数百nA程度が理論限界であり、実際には、100nA程度が用いられ得るに過ぎない。画像のS/N比は、画像を形成するのに用いられる電子の数、すなわち、ビーム電流値と画像取得に要する時間との積により決まる。画像処理が可能なレベルのS/N比を確保する必要があることを考慮すると、ビーム電流値が100nAで0.1 μ mの分解能を得ようすると、試料表面の面積1cm²を検査するのに約100sec以上を必要とする。一方、前述した従来の光学式検査装置では、検査面積1cm²当たりの検査所要時間が約5sec程度と非常に高速であった。従って、本発明の目的は、電子ビームを用いたパターンの比較検査および段差に起因する欠陥の検査の所要時間を従来の光学式検査方法のそれと同等か、またはそれ以上に高速化することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記した本発明の目的、すなわち電子ビームを用いたウェハ比較検査方法の高速化は以下の方法で達成できる。すなわち、試料表面の複数の照射領域(面積領域)に、電子ビームを「点ビーム」としてではなく2次元的な広がりを持った「面積ビーム」として順次照射し、これら複数の照射領域(面積領域)からの後方散乱電子または二次電子を結像させる。そして上記複数の照射領域の拡大像を順次形成し、これら複数の照射領域の拡大像を電気的な画像信号に変換して、上記複数の照射領域についての画像信号同士を比較する。これにより上記各照射領域についてのパターン欠陥を高速に検出することが可能となる。

【0006】すなわち、本発明のウェハ欠陥検査方法においては、電子源からの電子ビームを所謂「面積ビーム」として半導体試料表面の複数の照射領域(面積領域)に順次照射する。そしてこれら複数の照射領域からの後方散乱電子または二次電子を電子光学的に結像させて上記複

数の照射領域の拡大像を順次形成させる。これら複数の照射領域の拡大像を順次電氣的な画像信号に変換して記憶させ、上記複数の照射領域についての記憶画像信号同士を比較することにより上記各照射領域についてのパターン欠陥を検出するようにしている。本方法によれば、従来のような各照射領域(面積領域)内での「点ビーム」の2次元走査が不要であるので、検査時間の大幅な短縮が可能となり、欠陥検査の高速化が可能となる。

【0007】また、本発明によるパターン欠陥検査装置は以下の構成要素が必要である。1. 電子源からの電子ビームを面積ビームとして半導体試料表面に照射し該照射領域(面積領域)からの後方散乱電子または二次電子を結像させて上記照射領域の拡大像を形成するための電子光学系。2. 上記半導体試料を載せて該半導体試料表面上の所望位置に上記電子ビームが照射されるように上記半導体試料を移動させるための試料移動ステージ。3. 上記拡大像を電氣的な画像信号に変換して検出する画像信号検出手段。4. 該画像信号検出手段により検出された上記半導体試料表面の複数の照射領域についての画像信号同士を比較して各照射領域におけるパターン欠陥を検出するための画像信号処理手段。

【0008】なお、上記試料に負電位を印加することにより上記試料表面に照射される電子ビームを減速して、上記試料表面に入射するようにする。または、この減速された電子ビームが上記試料表面には入射せずにその極近傍で反射されるようにするのが有効である。

【0009】また、上記試料移動ステージは、上記試料をほぼ等速度で連続的に移動させるよう動作設定することにより、欠陥検査のより高速化が実現できる。この場合、上記試料移動ステージの位置をモニタするステージ位置モニタ手段を備えることによって、上記試料表面への電子ビーム照射領域が所定時間、同一箇所となるよう制御する必要があることは言うまでもない。

【0010】さらに、上記の画像信号検出手段は、上記電子光学系によって結像形成された上記照射領域の拡大電子像を蛍光板上に投射することによって光学像に変換し、この光学像を光学レンズまたは光ファイバーを介して光学画像検出素子上に結像させる。または、上記電子光学系で結像された拡大電子像を電子感応性を有する画像検出素子上に直接結像させるようにしてもよい。なお、画像検出素子としては、電荷結合型素子(CCDセンサ)、または時間遅延して入力した光信号を積分し出力する素子(TDIセンサ)を用いることができる。また、画像検出素子からの検出信号の読み出しは、並列に多チャンネルで読み出す方式とする。

【0011】一方、電子ビームを同時に照射することにより同時に得られる半導体試料表面の拡大像の大きさが画像検出素子の受光面の大きさとほぼ等しくなるように設定する方法がより簡便である。一方、以下の方法によればより高精度化を達成できる。すなわち1. 半導体試

料表面の拡大像の大きさが画像検出素子の受光面に比べて小さくなるように上記電子ビームの照射領域の大きさを設定する。2. 該電子ビームを上記半導体試料表面上で走査する。3. 捜査の結果、該画像検出素子の受光面全体に同時ではなく一定の時間をかけて上記拡大像が投射されるようにする。4. 上記電子ビームの走査信号には照射位置と照射範囲の変動要因を補正する信号を重ねさせる。

【0012】また、半導体試料に照射する電子ビームを減速し、試料に照射される時の電子ビームのエネルギー値を減速前のエネルギー値に比べて十分に小さくするために、上記半導体試料に負電位を印加する。このとき電子ビームの照射により試料表面から発生する後方散乱電子のエネルギー分散が結像系の分解能に影響を及ぼさない範囲となるように十分に減速する。または、電子ビームの照射により発生する後方散乱電子または二次電子をエネルギー分別するためのフィルタを備え、特定のエネルギー幅の後方散乱電子または二次電子のみを結像させる。これにより高速検査の課題を解決すると同時に、分解能をも向上させることができる。

【0013】さらにまた、半導体装置の段差に起因する欠陥を積極的に検出するために、同様の電子光学系を用いて高速に検査することが可能である。すなわち、試料表面にビーム減速電界を形成させて一次電子ビームを照射すると、段差部分で発生する二次電子、反射電子の軌道は平坦部分と異なる軌道になる。これら電子を一点に集めて検出するのではなく、結像させてそのまま位置検出器に入射させることにより、試料表面の段差構造による二次電子、反射電子の軌道方向の差が画像の歪み、輝度変動としてそのまま信号化できる。CMP等の表面平坦化後のパターンなしウェハに対し、この輝度変動を所望のしきい値と比較し、しきい値以上の変動が生じたときに主に段差に起因する欠陥が存在していると判定する。試料の種類、検出したい段差の深さに応じて電子ビームの電流量と試料照射面積を調節可能にし、高スループット化とともに平面および深さ分解能が所定の範囲内に収まるように調節できるように構成している。その結果、上記各照射領域について段差に起因する欠陥を高速、高精度かつ深さ方向に高分解能に検出することが可能になった。また、電子ビーム照射により生じる反射電子の発生量は試料の材質に大きく依存する。そこで、信号の変化により、段差底部の材質が判定可能となる。その結果、段差が最表面層より下の層に達しているか否かの致命度に関する情報を取得することが可能になる。しきい値による判定を行うことで、画像比較の必要もなく高速かつ単純に検査が可能である。

【0014】また、しきい値判定手法と画像比較手法の両方を具備した欠陥検査を行える構成にすれば、表面にパターンのない平坦ウェハに限定されず、パターン付きウェハ欠陥検査に本装置を用いることが可能になる。さ

らにまた、従来技術の走査画像形成用検出器と制御系、走査画像形成回路を具備すれば、高分解能な電位コントラスト像による欠陥検査にも応用することが出来る。その結果、一台で、複雑な座標のやり取りをすることなく多種類の欠陥検査に適用可能な検査装置を実現させることが出来る。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態につき、実施例を挙げて詳細に説明する。

【0016】〈実施例1〉図1に、本発明の一実施例による検査装置の概略構成を示す。本実施例による検査装置は、大別して、電子光学系101、試料室102、画像検出部103、画像処理部104および制御部105より構成されている。

【0017】先ず、電子光学系101について説明する。加速電源23により負の高電位が与えられている電子源1から放出された加速電子ビームは、コンデンサレンズ2によって収束され、矩形開口を有する絞り4を照射する。なお、この電子ビームは、絞り4上を照射する前に、電磁偏向器3によって偏向を受ける。電磁偏向器3は、電子源1からの入射電子ビームと試料からの反射電子（後方散乱電子または二次電子）ビームの光路を分離するためのものである。絞り4の矩形絞り開口を通過した入射電子ビームは、対物レンズ6によって結像されて、半導体試料7表面上に矩形絞り開口の像を形成する。絞り4上での矩形絞り開口の大きさは例えば $400\mu\text{m}$ 角であり、対物レンズ6によってこれを $1/4$ に縮小し、試料7表面上では $100\mu\text{m}$ 角の絞り開口像（照射領域）が得られるようにする。この絞り開口像（照射領域）は、照射系偏向器5によって試料7表面上の任意の位置に移動（または、走査）され得る。電子源1には、先端部が平面状でその平面状部分が $10\mu\text{m}\phi$ 以上のLaB6熱電子源を用いた。これによって、試料7表面上での広い面積（照射領域）にわたって均一に電子ビームを照射することが可能となる。

【0018】試料7、試料移動ステージ8には、電源9により、電子源1よりも低い（絶対値の小さい）負電位、または僅かに高い（絶対値の大きい）負電位を印加する。電子源1の電位よりも僅かに低い負電位を印加するのは、試料7からの後方散乱電子を用いて検査する場合である。その場合には、入射電子ビームは、上記の負電位によって試料7の手前で減速されて試料7表面に向かい、試料7表面の原子によって後方散乱される。この後方散乱電子を電磁偏向器3、結像系偏向器10を介して結像レンズ11に導き散乱電子像12として結像させる。さらに、この散乱電子像12を拡大レンズ13、14によって蛍光板15上に拡大投影させることによって、試料7表面のパターンを反映した蛍光像（顕微鏡像）を得ることができる。

【0019】試料室102内では、2次元(X, Y, θ)

方向に移動可能な試料移動ステージ8上に試料7が載置され、試料7には電源9により上記したような負電位が印加されている。試料移動ステージ8にはステージ位置測定器27が付設され、ステージ位置をリアルタイムで正確に計測している。これは、ステージ8を連続移動させながら画像を取得するためである。このステージ位置測定器27には例えばレーザ干渉計が用いられる。また、半導体試料（ウェハ）表面の高さを正確に計測するために、光学的な試料高さ測定器26も取り付けられている。これには、例えば、ウェハ表面上の検査すべき領域に斜め方向から光を入射させ、その反射光の位置変化からウェハ表面の高さを計測する方式のものをを用いることができる。この他、試料室102には、検査領域の位置決め用に用いられる光学顕微鏡30も付設されている。

【0020】次に、画像検出部103について説明する。画像検出には、散乱電子像12の拡大像を光学像に変換するための蛍光板15と光学画像検出素子（例えばCCD素子）17とを光ファイバー束16により光学結合させる。これにより蛍光板15上の光学像を光学画像検出素子17の受光面上に結像させる。光ファイバー束16は、細い光ファイバーを画素数と同じ本数束ねたものである。また、上記光ファイバー束16の代わりに光学レンズを用い、該光学レンズによって蛍光板15上の光学像を光学画像検出素子(CCD)17の受光面上に結像させるようにしてもよい。蛍光板15の両面には電極300と透明電極301を設け、両電極間に透明電極301側が正の高電圧を印加して電子ビームの散乱を防いでいる。光学画像検出素子(CCD)17は、その受光面上に結像された光学像を電気的な画像信号に変換して出力する。出力された画像信号は、画像処理部104に送られ、そこで画像信号処理が行われる。

【0021】画像処理部104は、画像信号記憶部18及び19、演算部20、欠陥判定部21より構成されている。なお、取り込まれた画像信号はモニタ22により画像表示される。装置各部の動作命令および動作条件は、制御部105内の制御計算機29から入出力される。制御計算機29には、予め電子線発生時の加速電圧、電子線偏向幅・偏向速度、試料ステージ移動速度、画像検出素子からの画像信号取り込みタイミング等々の諸条件が入力されている。ビーム制御系28は、制御計算機29からの指令を受けて、ステージ位置測定器27、試料高さ測定器26からの信号を基にして補正信号を生成し、電子線が常に正しい位置に照射されるように対物レンズ電源25や走査信号発生器24に補正信号を送る。

【0022】以下に、本検査装置の動作条件を示すことによって、従来の電子ビームによるパターン検査装置と比べてどの程度の検査の高速化が図れたかについて述べる。画像比較検査法によってパターン欠陥の検査をするには、画像のS/N比が10以上必要である。ここに云

う S/N 比の「 S 」は電子の平均信号量、「 N 」は信号の 3σ 値で定義される。 σ 値は照射電子数のショットノイズで決まり、1画素当たりに照射される電子数 S の平方根(\sqrt{S})となる。従って、 S/N 比は $S/(3\sqrt{S})=\sqrt{S}/3$ となる。これにさらに試料からの電子放出を考慮すると、 S/N 比は $\sqrt{S}/(3\sqrt{2})$ となる。例えば、約18の S/N 比を得るためには $S \geq 6250$ となり、一画素当たり6250個の電子を照射する必要がある。一方、欠陥検査に必要な分解能は $0.1\mu\text{m}$ 以下である。従って、電子ビームを点状に絞り、これを試料表面上で走査して行く従来方法では、電子ビームを $0.1\mu\text{m}$ 以下に絞る必要がある。このような微細なビームを作るには電子源の輝度と空間電荷効果によりビーム電流値には限界があり、ビーム電流値 I としては高々 100nA 程度しか得られない。照射ビーム電流が 100nA では、1秒間当たり $100(\text{nA})/(1.6 \times 10^{-19}(\text{C}))=6.25 \times 10^{11}$ 個の電子が照射されることになる。従

$$6250 = [I \cdot \eta \cdot t / (1.6 \times 10^{-19})] \cdot [1e-7/x]^2$$

$$\therefore t = 0.1 \cdot [x^2 / (I \cdot \eta)] \quad \dots (1)$$

また、 T は次式で表される。

$$T = (0.01/x)^2 \cdot t$$

$$\therefore T = 1e-4 \cdot (t/x^2) = 1e-5 \cdot [1/(I \cdot \eta)] \quad \dots (2)$$

この式に、実際の値を代入して、検査所要時間 T を求める。

【0026】本実施例では、1ショット $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の面積領域を $100\mu\text{A}$ の面積ビームで照射した。画像検出素子(CCD)には、 1024×1024 の画素を持つものを用い、該CCD素子上での一画素が試料上での $0.1\mu\text{m}$ 角に対応するように電子光学系およびCCD素子への結像光学系の倍率を設定した。この場合、画像の周辺部では歪みが発生するので、この歪みが補正されるように、光ファイバー束16の代わりに光学レンズを用いる場合は、非球面レンズを用いることとした。さらに、これで補正しきれない歪みを画像処理により補正してから使用した。ここで、上式中の η 値を0.2とすると、1ショットの所要時間 t は $50\mu\text{sec}$ となり、また、面積 1cm^2 当たりの検査所要時間 T を計算すると、 0.5sec となる。このように、照射電子数のショットノイズから要求される検査所要時間は飛躍的に短縮され、高速検査が可能になることが判る。

【0027】次に、試料移動ステージ8の整定時間について述べる。ステージ8の移動方法を例えばステップ・アンド・リピート方式とすると、ステージ8の整定時間は msec オーダーが必要となるため、十分に検査時間を短縮することができない。従って、ステージ8の移動方法は、ステージが常に等速で移動している連続移動方式とした。これによりステージの整定時間による検査時間の制約はなくなる。ただし、ステージ8が連続移動していると、1ショット時間例えば $50\mu\text{sec}$ の間にもステージ8が移動して、試料表面上での照射位置が変化

って、1画素当たり6250個の電子照射を行うには 10nsec の照射時間が必要である。そうすると、面積 1cm^2 を検査するには $(1\text{cm}/0.1\mu\text{m})^2 \times 10\text{nsec} = 100\text{sec}$ の検査時間が必要となる。

【0023】一方、本実施例の検査装置の場合には、一边が x の正方形の領域にビーム電流 I の電子ビーム(面積ビーム)を照射する(これを1ショットと呼ぶことにする)。それによって照射電流の η 倍の後方散乱電子が放出されたとする。この後方散乱電子により試料表面の拡大像を形成し、分解能 $0.1\mu\text{m}$ の画像として画像検出素子(CCD)で検出する場合を考える。比較条件として、 $0.1\mu\text{m}$ 角当たりからの必要な信号数(後方散乱電子数)は従来例と同じ6250個とする。1ショットの所要時間を t 、面積 1cm^2 を検査するのに必要な時間を T とすると、 t は次式で表される。

【0024】

【0025】

してしまう。そこで、1ショットの間に照射位置が変化しないように、偏向器5により照射電子ビームをステージ8の移動に追従させるようにした。また、静止座標系である電子光学系から見ると、電子ビーム照射位置は移動しているから結像レンズ11により作られる像12も移動してしまう。この移動が生じないようにするために、偏向器10を偏向器5と連動動作させるようにした。

【0028】次に、画像検出素子(CCD)の読み取り時間について述べる。本実施例では、CCD17に蓄積された電荷を32チャンネルの読み出し口から 1M ライン/秒の読出速度で多チャンネル並列読み出しできるようにした。1ライン当たりの画素数は32で、1ライン当たりの読み出所要時間は $1\mu\text{sec}$ である。従って、1画素当たりの読み出所要時間は $1(\mu\text{sec})/32$ (画素) $=32\text{nsec}$ となる。これに対し、CCDからの画像データの読み出しが1チャンネル方式では1画素当たりの読み出所要時間が 1nsec と非常に高速での読み出しが必要となり、現在の技術では実現不可能である。本実施例では、CCDからの画像データの読み出し口を32チャンネルに分け、この32チャンネルで並列同時読み出しする方式とすることによって、1画素当たりの読み出所要時間を 32nsec とし、十分実現可能な読出速度としている。これを模式的に示したのが図3である。CCD17からの画像データの読出チャンネル数は32chであり、各チャンネル毎に32画素 $\times 1024$ ラインがあるから、このCCDから一枚の画像データを読み出すに必要な時間は約 1msec となる。すな

わち、 $100\mu\text{m}$ 角の1ショット領域の画像信号を 1msec で取り込めることになり、試料表面積 1cm^2 当たりの検査所要時間は 10sec となる。以上のように、従来方式による試料面積 1cm^2 当たりの検査所要時間 100sec に比べて、10倍もの高速化が達成できた。また、本実施例では、検査所要時間を決めているのはCCD素子からの信号読み出速度であるので、将来CCD素子におけるより高速のデータ読み出方式が実現されれば、さらなる検査の高速化が期待できる。

【0029】以上では、検査速度の改善効果について説明したが、その他の特長についても述べる。本実施例では、半導体試料7に負の高電圧を印加して、照射電子ビームを試料表面の直前で急激に減速して照射している。これにより、次に示すような特長が得られる。すなわち、電子ビームを固体試料に照射すると二次電子や反射電子が発生する。二次電子は、入射電子が固体中の電子にエネルギーを与えて、このエネルギー付与された固体中の電子が真空中に放出されるものである。このために、二次電子の持つエネルギーの広がり大きい。一方、反射電子は、入射電子が固体中の原子核や電子と相互作用してその軌道を変え、再び真空中に放出する電子である。この時、相互作用が弾性散乱のみであれば、入射エネルギーと同じエネルギーの反射電子が放出される。これを模式的に表したのが、図2である。入射電子のエネルギーが高くと、固体内部に奥深く侵入する電子が増えるため、真空中に再び放出する反射電子は少数である。さらに、非弾性散乱が増加するために、低エネルギー側に広い裾野を引きエネルギーの広がりが大きくなる(同図(a))。エネルギーの広がりが大きい電子を電子光学系により結像する場合には、色収差により分解能が低下するという問題が生じる。一方、低エネルギーの電子を照射する場合には、弾性散乱の割合が増加するため、低エネルギー側の裾野が減少し、また、二次電子の放出も減少するため、同図(b)に示すようになる。すなわち、本実施例では、エネルギーの低い電子を試料表面に入射させることで、まずエネルギーの広がりの大きい二次電子の放出を抑え、かつ反射電子すなわち後方散乱電子の放出割合を増加させる。さらに後方散乱電子のエネルギーの広がりをも小さく抑えることができるため、高分解能の画像を形成することができるという特長がある。

【0030】次に、実際の検査に当たっての手順について説明する。まず、光学顕微鏡30と電子線画像を用いてのアライメントの方法について説明する。試料7を試料移動ステージ(X-Y- θ ステージ)8上に載置し、光学顕微鏡30の下へ移動する。モニタ22により試料7表面の光学顕微鏡画像を観察し、画面内の例えば中央に現れた任意のパターンを記憶する。この際、選択するパターンは電子線画像上でも観察可能なパターンである必要がある。

【0031】次に、上記の光学顕微鏡画像を用いて試料(半導体ウエハ)7表面上の回路パターンがステージ移動方向と平行あるいは直交となるように、X-Y- θ ステージ8により回転補正を行う。回転補正時には、あるステージ位置におけるウエハ7表面上の回路パターンの任意のチップ内の任意のパターン部分の光学画像を取り込んでモニタ22に表示させて、表示画面内の任意箇所にマーキングを付す。そして、その光学画像信号を記憶部18に記憶させる。次に、ウエハ7表面上の回路パターンの数チップ分の距離だけステージ8をx方向またはy方向に移動させ、新たなチップ内の先と同一のパターン部分の光学画像を取り込んでモニタ22に表示させる。そして先のマーキング箇所に対応する箇所にやはりマーキングを付した後、その新たな光学画像信号を記憶部19に記憶させる。次いで、演算部20において、記憶部18、19に記憶された光学画像信号同士を比較演算して、両画像間でのマーキング箇所の位置ずれ量を算出する。このマーキング箇所の位置ずれ量と両画像間でのステージ移動量とから、ウエハ7の回転角度誤差を算出し、その分ステージ8を回転させて回転角度を補正する。以上の回転補正操作を数回繰り返して、回転角度誤差が所定値以下となるようにする。さらに、光学顕微鏡画像を用いてウエハ7表面上の回路パターンを観察し、ウエハ上でのチップの位置やチップ間の距離(例えば、メモリセルのような繰り返しパターンの繰り返しピッチ)を予め測定し、その値を制御計算機29に入力する。そして、ウエハ7表面上の被検査チップおよびそのチップ内の被検査領域をモニタ22の光学顕微鏡画像上で設定する。光学顕微鏡画像は、比較的低倍率で観察が可能であり、また、ウエハ7表面の回路パターンが例えばシリコン酸化膜のような透明な膜で覆われている場合でもその下地まで観察可能である。したがって、チップ内回路パターンのレイアウト等が簡便に観察でき、検査領域の設定が簡便に行える。

【0032】次に、試料(ウエハ)7を電子光学系の下へ移動する。そこで、先に光学顕微鏡画像上で設定した被検査領域を含むと予想される領域に電子線を照射して電子線画像を取得する。この時、1ショットの電子線照射領域内に上記の被検査領域が入るようにする。この電子線画像上においても、先の光学顕微鏡画像上においてマーキングしたのと同じ画面内に、先にマーキングした箇所のパターンが現れるようにステージ8を移動すること。これにより、予め検査開始前に電子線照射位置と光学顕微鏡観察位置との間の対応をつけ、かつ、電子線照射位置を校正することができるようになる。そして、この電子線画像上においても、先に光学顕微鏡画像上で行ったのと同様の操作を実施する。これにより、光学顕微鏡を用いての簡便な観察位置の確認や位置合わせ、および電子線照射位置の調整が可能となる。さらには、ある程度の回転補正も実施した後に、光学顕微鏡画像に比べて分

解能が高く、高倍率画像を得ることのできる電子線画像を用いてさらに高精度な回転補正ができるようになる。くわえて、この電子線画像を用いて、被検査領域または同一パターン領域を高倍率で高精度に観察確認・補正することができる。ただし、半導体ウエハ7の表面の全部(または一部)が絶縁物で覆われている場合には、電子線を照射するとこの絶縁物が帯電して、一度電子線を照射した場所は検査できなくなってしまう場合がある。そこで、上記のような検査に先だっての検査条件設定のための電子ビーム照射は、実際には検査を行う予定のない領域であってかつ被検査領域と同じパターンを有する場所を選択して行うようにすればよい。

【0033】上記した検査条件の設定が完了したら、半導体ウエハ7表面上の被検査領域の一部を実際の検査条件と全く同一の条件で電子線画像化し、被検査領域の材質や形状に依存した画像の明るさの情報およびそのばらつき範囲を算出しテーブルにして記憶する。そして、後の検査工程において該記憶テーブルを参照して実際に画像化検出された被検査領域内のパターン部分が欠陥であるか否かを判定する際の判定条件を決定する。

【0034】上記の手順によって被検査領域および欠陥判定条件の設定が完了したら、実際に検査を開始する。検査時には、試料(半導体ウエハ)7を搭載したステージ8はX方向に一定速度で連続移動する。その間、電子線は各1ショットの間ウエハ7表面上の同一照射領域(面積領域)を一定のショット時間(本実施例では、50 μ sec以上)照射する。ステージ8は連続移動しているので、電子ビームは偏向器5によってステージ8の移動に追従して偏向走査させる。

【0035】電子線の照射領域あるいは照射位置は、ステージ8に設けられたステージ位置測定器27、試料高さ測定器26等により常時モニタされる。これらのモニタ情報が制御計算機29に転送されて詳細に位置ずれ量が把握され、かつこの位置ずれ量はビーム制御系28によって正確に補正される。これにより、パターンの比較検査に必要な正確な位置合わせが高速・高精度で行われ得る。

【0036】また、半導体ウエハ7の表面高さを、電子ビーム以外の手段でリアルタイムに測定し、電子ビームを照射するための対物レンズ6や結像レンズ11の焦点距離をダイナミックに補正する。電子ビーム以外の手段としては例えば、レーザ干渉方式や反射光の位置変化を計測する方式等による光学式の高さ測定器26である。これにより、常に被検査領域の表面に焦点のあった電子ビーム像を形成することができる。また、予め検査前にウエハ7の反りを測定しておき、その測定データを基に上記の焦点距離補正をするようにして、実検査時にはウエハ7の表面高さ測定を行う必要がないようにしてもよい。

【0037】電子線を半導体ウエハ7表面に照射し、反

射電子(後方散乱電子)によりウエハ7表面上の所望の被検査領域(面積領域)についての拡大光学像を蛍光板15上に形成する。この拡大光学像をCCD素子17により電気的な画像信号に変換し、この画像信号を画像処理部104に取り込む。そして、制御計算機29からの指令を受けて制御部28により与えられた電子線照射位置に対応した面積領域についての電子線画像信号として、記憶部18(または19)に格納する。

【0038】半導体ウエハ7表面上に形成された同一設計パターンを有する隣接チップA、B間でのパターンの比較検査をする場合には、まず、チップA内の被検査領域についての電子線画像信号を取り込んで、記憶部18内に記憶させる。次に、隣接するチップB内の上記と対応する被検査領域についての画像信号を取り込んで、記憶部19内に記憶させながら、それと同時に、記憶部18内の記憶画像信号と比較する。さらに、次のチップC内の対応する被検査領域についての画像信号を取得し、それを記憶部18に上書き記憶させながら、それと同時に、記憶部19内のチップB内の被検査領域についての記憶画像信号と比較する。このような動作を繰り返して、全ての被検査チップ内の互いに対応する被検査領域についての画像信号を順次記憶させながら、比較して行く。

【0039】上記の方法以外に、予め、標準となる良品(欠陥のない)試料についての所望の検査領域の電子線画像信号を記憶部18内に記憶させておく方法を探ることも可能である。その場合には、予め制御計算機29に上記良品試料についての検査領域および検査条件を入力しておき、これらの入力データに基づき上記良品試料についての検査を実行し、所望の検査領域についての取得画像信号を記憶部18内に記憶する。次に、検査対象となる試料7をステージ8上にロードして、先と同様の手順で検査を実行する。そして、上記と対応する検査領域についての取得画像信号を記憶部19内に取り込むと同時に、この検査対象試料についての画像信号と先に記憶部18内に記憶された上記良品試料についての画像信号とを比較する。これにより上記検査対象試料の上記所望の検査領域についてのパターン欠陥の有無を検出する。なお、上記標準(良品)試料としては、上記検査対象試料とは別の予めパターン欠陥が無いことが判っている試料(ウエハ)を用いても良いし、上記検査対象試料表面の予めパターン欠陥が無いことが判っている領域(チップ)を用いても良い。例えば、半導体試料(ウエハ)表面にパターンを形成する際、ウエハ全面にわたり下層パターンと上層パターン間での合わせずれ不良が発生することがある。このような場合には、比較対象が同一ウエハ内あるいは同一チップ内のパターン同士であると、上記のようなウエハ全面にわたり発生した不良(欠陥)は見落とされてしまう。しかし本実施例によれば、予め良品(無欠陥)であることが判っている領域の画像信号を記憶して

おき、この記憶画像信号と検査対象領域の画像信号とを比較するので、上記したようなウエハ全面にわたり発生した不良をも精度良く検出することができる。

【0040】記憶部18、19内に記憶された両画像信号は、それぞれ演算部20内に取り込まれ、そこで、既に求めてある欠陥判定条件に基づき、各種統計量（具体的には、画像濃度の平均値、分散等の統計量）、周辺画素間での差分値等が算出される。これらの処理を施された両画像信号は、欠陥判定部21内に転送されて、そこで比較されて両画像信号間での差信号が抽出される。この差信号と、既に求めて記憶してある欠陥判定条件とを比較して欠陥判定がなされ、欠陥と判定されたパターン領域の画像信号とそれ以外の領域の画像信号とが分別される。

【0041】これまでに述べてきた検査方法および検査装置により、半導体試料7から発生する反射電子（後方散乱電子や二次電子）による画像を形成し、対応するパターン領域についての画像信号を比較検査することによって、パターン欠陥の有無を検出することが可能となった。これにより、従来の電子線による検査装置と比べ非常に高速な検査が可能になった。

【0042】〈実施例2〉次に、第2の実施例として、表面の段差検出用高速検査装置について説明する。本実施例は、第1の実施例と比較して、画像比較を行わず、しきい値判定を行うものである。また、試料に印加するリターディング電圧を制御するための制御系と制御電極を持つ構成にした。本実施例の検査装置の概略構成を図4に示す。その他、電子光学系の構成は第1の実施例とほとんど同様である。以下、特に第1の実施例と異なる部分について記述する。

【0043】電子ビームが絞り4上を照射する手前に、電磁偏向器3が設置してある。この電磁偏向器3は、電界分布と磁界分布が重畳し、一次電子ビームには偏向作用を及ぼさず、試料からの反射電子または二次電子のビームの光路のみを偏向する。絞り4の矩形絞り開口を通過した入射電子ビームは、対物レンズ6によって結像されて、半導体試料7表面上に矩形絞り開口の像を形成する。絞り4には、4種類の大きさの矩形絞り開口が並べられてあり、真空外から手で所望のサイズの矩形絞り開口を選べる可動絞りにしてある。一例として、 $400\mu\text{m}$ 角の絞りを選択し、対物レンズ6によってこれを $1/4$ に縮小し、試料7表面上で $100\mu\text{m}$ 角の絞り開口像（照射領域）が得られるようにする。この絞り開口像（照射領域）は、照射系偏向器5によって試料7表面上の任意の位置に移動（または、走査）され得る。電子源1には、先端部が平面状でその平面状部分が $1\mu\text{m}\phi$ 以上のLaB6熱電子源を用いた。これによって、試料7表面上で広い面積（照射領域）にわたって均一な電子ビームを照射することが可能となる。

【0044】試料7、試料移動ステージ8には、実施例

1と同様、電源9により、電子源1よりも低い（絶対値の小さい）負電位、または僅かに高い（絶対値の大きい）負電位を印加して試料ウエハに電位を与える。負電界の終端として、対物レンズ6のすぐ下にグランド電極を設ける。また、試料の上方に中間電極を設置し、試料と中間電極には制御系から印加電圧の設定値が与えられ、この設定値通りに試料近傍の電子ビーム減速電界（以下、リターディング電界と称する）が形成される。この反射電子を電磁偏向器3、結像系偏向器10を介して結像レンズ11に導き散乱電子像12として結像させる。さらに、この散乱電子像12を拡大レンズ13、14によって蛍光板15上に拡大投影させることによって、試料7表面のパターンを反映した蛍光像（顕微鏡像）を得る。

【0045】試料室内のウエハ移動、画像処理系の画像取得等は実施例1と同様である。画像処理部104は、画像判定部21およびしきい値設定回路より構成されている。しきい値はユーザにより、非検査ウエハの種類、工程、検出したい欠陥サイズ等々に応じて所望の値を設定される。装置各部の動作命令および動作条件は、制御部105内の制御計算機29から入出力される。制御計算機29には、予め電子線発生時の加速電圧、電子線偏向幅・偏向速度、試料ステージ移動速度、画像検出素子からの画像信号取り込みタイミング等々の諸条件が入力されている。ビーム制御系28は、制御計算機29からの指令を受けて、ステージ位置測定器27、試料高さ測定器26からの信号を基にして補正信号を生成し、電子線が常に正しい位置に照射されるように対物レンズ電源25や走査信号発生器24に補正信号を送る。

【0046】しきい値との比較検査の場合においては取得画像のS/Nは画像比較検査に比べてより低い数値でよく、実質的な検査達成のために8程度となるように条件設定をした。その結果、 $S/N=10$ として構成した第1の実施例と比べてさらに検査速度を上げることが出来た。反射電子または二次電子で試料7表面の段差を検出する原理について図5を使って説明する。試料ウエハ7には電子ビーム減速用のリターディング電位が与えられており、図5に示すようにグランド電極、中間電極との間に電界を形成している。電子ビームがこの電界で急激に減速されて試料に照射されるとともに、試料7から発生する反射電子および二次電子は試料近傍からリターディング電界による加速を受けて上方に引きだされる。この反射電子、二次電子を検出系上で結像させるための結像レンズにより、試料表面状態はそのまま二次元画像として検出される。このとき、図5(a)に示すように試料表面が平坦な場合は電界分布も平坦であり、試料からの反射電子および二次電子の軌道は場所によらずに均一に上方へ向けられる。しかし、図5(b)のように表面に段差がある場合には、電界分布が不均一となり、段差近傍からの電子は電界分布にしたがって歪む。その結果、段差が

ある場所からの二次電子、反射電子は他の場所からの電子と異なり検出系のしかるべき位置へ結像していかない。よって、画像を取得してみると、段差近傍において、本来存在しない輝度の変動が図6に示すように取得される。この歪み量の大きさは、図の電位分布から明らかとなるように、段差の深さ、傾き等の情報を含んでいる。すなわち、段差が浅い場合には、ほとんどコントラスト変動は見受けられなくなる。また、段差の端部の立ち上りが垂直に近い場合ほど反射電子、二次電子の軌道の歪み方が大きくなる。そこで、輝度の変動が急峻で変動領域のサイズが小さいものは切り立った段差であることを意味し、緩やかな変動は段差の縁がなだらかであることを意味するものと仮定した。また、輝度の変動量が大きい場合には深い段差、小さい場合には浅い段差であると仮定した。これらの仮定から、検出した段差の深さや傾きを判定した。これらの絶対値は、電子ビームの照射領域に応じて画素サイズが変わるので、相対的に変化する。また、図5から分かるように、試料に印加するリターディング電圧および中間電極の電圧を変化させることにより、電界の大きさおよび勾配が変化する。したがって、電子ビームの照射領域(すなわち画素サイズ)とリターディング電界を適切に設定することで、ユーザー所望の深さ、傾きの段差が検出できるようになる。その際、検出不要な浅いマイクロラフネス等は検出しないことが可能となった。これらの段差形状の仮定については、後述するように、試料ステージの外周部に段差の標準試料を設置し、電子ビームの照射条件とリターディング条件、段差の大きさ、傾きに対する画像の輝度の対応関係をデータテーブルとして取得し、随時適切な数値に修正しながら検査装置を使うように構成した。

【0047】さらにまた、反射電子の発生量には試料の当該部分の材質が大きく関与する。そこで、適切な倍率設定により段差底部からの電子の発生量を画像化し、段差の底部の材質が周囲と同じか否かの判断を行った。この判断により、当該段差が最表面上のみの浅いキズであるか、2層目にかかる致命的なキズか否かを判定した。これらの段差形状、材質に関するデータを欠陥の座標とともに記憶する記憶装置を具備して動作させておくことは言うまでもないことである。

【0048】なお、検査に先立ち、複数種類の幅、深さを有する段差欠陥を作り込んだ標準ウェハを試料台に載置して電子線画像を取得し、輝度の変動幅と変動領域の大きさを数値化する。見たい欠陥の検出に最適なビーム照射条件、リターディング条件もここで決定させる。また、検出器のゲインを調節して最適なゲインで画像を形成するよう条件を決定する。最適条件下の輝度変動幅と変動領域の大きさを記憶させる。また、この数値を一度記憶させてからは、共通する条件のウェハでは同一数値を与えればよいことから、ユーザーが選択してこの数値を設定できるように設定手段を持たせている。輝度変動幅

から最適なしきい値を決定し、これも設定手段からユーザーが簡単に選択できるように構成している。このしきい値を上回る輝度変動があれば、欠陥として直ちに検出し、その正確な位置を記憶するように制御して検査する。

【0049】そして、画像のコントラストを各画素ごとにあらかじめ入力してあるしきい値と比較し、輝度変動がしきい値を越える画素を欠陥として検出する。この画素の位置をウェハ上の座標値として正確に記憶し、また、輝度の変動量と変動領域の大きさも記憶する。

【0050】これまでに述べてきた検査方法および検査装置により、半導体試料7から発生する反射電子(反射電子や二次電子)による画像を形成し、主に段差に起因する半導体装置の欠陥の有無を高感度に検出することが可能となった。これにより、従来の電子線による走査画像による欠陥検査装置と比べ非常に高速な検査が可能になった。

【0051】〈実施例3〉図7に示すように、第1の実施例に対して画像形成遅延回路、画像比較回路を付け加えて構成した検査装置を第3の実施例として実施した。そして、試料ウェハ上で同一パターンをもつ少なくとも2領域の画像を取得して比較し、差が認められた場合に欠陥として検出する構成とした。半導体ウェハ7表面上に形成された同一設計パターンを有する領域をチップA、B、Cとする。A、B間でのパターンの比較検査をする場合には、まず、チップA内の被検査領域についての電子線画像信号を取り込んで、一画像時間分の遅延をかける。次に、チップB内の上記と対応する被検査領域についての画像信号を取り込んで、同時に、遅延を欠けたチップAの画像信号と比較する。さらに、次のチップC内の対応する被検査領域についての画像信号を取得し、遅延をかけたチップB内の被検査領域の画像信号と比較する。このような動作を繰り返して、全ての被検査チップ内の互いに対応する被検査領域についての画像信号を順次遅延させながら、比較して行く。本実施例により、被検査領域に回路パターンが存在する場合にも、画像の比較により欠陥の検出を行うことが可能になった。検査方式について、図8に概念図を示す。第1の実施例ではウェハの最表面にパターンがない場合の検査を、しきい値との比較で行った。それに対し、本実施例では最表面にパターンがある場合にも対応して検査を行うことが出来た。しきい値法で欠陥検出するか、画像比較法で検査するかはユーザーが検査開始時に検査ウェハの表面状態に合わせて選択した。この結果、第2の実施例よりも幅広いウェハ表面状態に対して高感度な検査を行うことが可能になった。

【0052】〈実施例4〉実施例1では、1ショットの電子線照射領域の面積が $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ とかなり大きいため、半導体試料の拡大像の周辺部に歪みが生じると云う問題や照射領域内でのビーム電流密度の

均一性に問題が生じる場合がある。画像歪みや電流密度の不均一性が固定的に生じている場合には、光ファイバー束16のファイバー素線配列に変化を付けることで補正可能である。また、画像信号の取得感度や画像処理に重みを付けることで補正できるが、それらが時間的に変動する場合には、それらの方法では対応が困難となる。本実施例では、1ショットの照射領域を $5\mu\text{m}$ 角として、1ショットの照射領域内では歪みや電流密度の不均一性の問題が生じないようにした。照射電子ビーム電流は1ショット当たり $5\mu\text{A}$ である。この時、電子ビームの照射時間は電子の散乱効率 η を0.2とすると、先の(1)式より、1ショット当たりの照射時間 t は、 $2.5\mu\text{sec}$ となる。ショット時間 $2.5\mu\text{sec}$ で一つの照射領域($5\mu\text{m}$ 角)を照射した後、電子ビームは偏向器5により隣接する次の照射領域($5\mu\text{m}$ 角)上に移動される。このようにして、次々に照射位置を移動して、 x 方向 $100\mu\text{m} \times y$ 方向 $100\mu\text{m}$ の範囲全体を $20 \times 20 = 400$ ショットで照射する。

【0053】この時、CCD素子17上には、各1ショット毎に、その時の電子ビーム照射位置に対応した位置に拡大像が得られ、電子ビームの走査による電子ビーム照射位置の移動に応じてCCD素子に得られる拡大像位置も移動して行く。この様子を示したのが図9である。CCD素子17には 1024×1024 画素のものをを用いた。CCD素子上での1画素は試料7表面上での $0.1\mu\text{m}$ 角の領域に相当し、従って、試料7表面上での1ショットの照射領域($5\mu\text{m}$ 角)は、CCD素子受光面上での 50×50 画素の領域(CCD素子受光面全体の $1/400$ に相当する)となる。そして、CCD素子の受光面全体で試料表面上の $100\mu\text{m}$ 角の領域をカバーできるようにした。従って、試料表面上での $100\mu\text{m}$ 角の領域の拡大像を得るためには $2.5(\mu\text{sec}) \times 400(\text{ショット}) = 1(\text{msec})$ を要することとなる。

【0054】上述のようにして、試料7表面上の $100\mu\text{m}$ 角の領域の画像を 1msec でCCD上に形成させたら、該CCDに蓄積された画像信号をデジタル信号として画像記憶部18に記憶させる。試料表面上の隣接する次の領域の画像信号を取得するためにはステージ8を $100\mu\text{m}$ 移動させる必要がある。このステージ移動には、先の実施例1の場合と同様、ステージ8を一定速度で連続移動させる方式を採った。その際、照射電子ビームに対してステージ8があたかも静止しているかの状態になる様、偏向器5によって照射電子ビームをステージ8の移動に追従させて偏向走査するようにした。これにより、ステージ8を移動・停止させる際に生じる無駄時間をゼロにした。このステージ8の連続移動への照射電子ビームの追従走査に当たっては、ビーム制御系28内で、ステージ位置測定器27からの信号を参照して偏向補正信号を計算し、この偏向補正信号を偏向器5に送り照射電子ビームの偏向を制御させる。さらに、電子線に

よる試料拡大像の歪みや位置ドリフト等に関する補正分も上記の偏向補正信号に重畳させることにより、これらの補正も行うようにした。また、偏向器5と連動して偏向器10も動作させて、CCD上での試料拡大像の位置が上記のステージ追従によるビーム位置移動の影響を受けないようにした。これにより、ステージ移動による無駄時間を無くし、高速・高精度の検査を実現することができた。なお、上記以後の欠陥検査のための画像処理等については、先の実施例1の場合と同様である。

【0055】以上説明した手順により検査を進めていくと、試料表面 1cm^2 当たりについての拡大像をCCD上に順次形成するに要する時間 T は 10sec となる。一方、先の実施例1の場合と同様に、CCDから 1M ライン/秒の読出速度で画像信号を読み出すので、一枚の画像(試料表面 $100\mu\text{m}$ 角についての画像)を読み出すのに 1msec が必要であるため、試料表面積 1cm^2 当たり 10sec が必要となる。CCD素子における画像形成と画像信号の読み出しは並行して行われるから、検査に要する時間は、画像形成に要する時間と画像信号読み出しに要する時間との内何れか長い方の時間となる。本実施例では、画像形成所要時間と画像信号読み出所要時間とが、双方共に試料表面積 1cm^2 当たり 10sec と、互いに等しくなっており、従って、本実施例における試料表面積 1cm^2 当たりについての検査所要時間は 10sec となる。

【0056】本実施例では、実施例1の場合に比べ、1ショット当たりの電子ビーム照射面積が小さい。従って照射ビーム電流も小さくて済むので、電子源1としては、先の実施例1の場合の先端部を広げたLaB6電子源に比べ、より先端の尖ったLaB6電子源を用いた。なお、本実施例では、LaB6電子源に代えて熱電界放出型の電子源、例えばZr/O/W電子源を用いることもできる。

【0057】以上の説明では、1ショットの電子ビーム照射領域を $5\mu\text{m}$ 角の大きさに固定した場合について例示したが、半導体試料7表面でのパターン繰り返しピッチに応じて、この電子ビーム照射領域の大きさを可変できるようにしても良い。上述したように、本実施例では、1ショットの電子ビーム照射領域をより小さく設定している。したがって、各照射領域間のつなぎ部分に多少の歪みが生じたとしても、常に同一箇所に同程度の歪みが生じることになり、相互比較すべき二つの画像上での歪みの現れ方も等しくなるため、歪みによる誤検出の問題が無くなる。これにより、信頼性の高いパターン欠陥検査が実現できる。

【0058】〈実施例5〉本実施例では、試料表面画像を電気信号に変換する素子として、時間蓄積型のCCDセンサを用いた。この素子はTDIセンサと呼ばれるもので、光学式検査装置において一般的に使用されている。それ以外は、先の実施例2の場合と同様である。こ

のTDIセンサの動作概念を図10を参照して説明する。TDIセンサでは、各受光領域で受光した光の強度に応じて生成された電荷をx方向のラインに移動させて行くと同時に、その移動先で受光した光の強度に応じて生成された電荷を順次足し合わせて行くように動作する。そして、受光面の最終ラインに達した時点で電気信号として外部に出力する。従って、x方向の電荷の移動速度と受光面上の画像のx方向の移動速度を同一にすることで、画像がセンサ上を移動する間の信号を積分して出力することになる。

【0059】本実施例では、先の実施例1から実施例4の場合のCCDセンサと同様に、信号読み出しを32チャンネルに分割しそれぞれ並行して読み出すことにより、読出速度を1Mライン/秒とした。また、受光領域の大きさは、x方向に64画素、y方向に1024画素のものをを用いた。1ラインのx方向長さは、試料表面上の $0.1\mu\text{m}$ 、y方向長さは約 $100\mu\text{m}$ に相当する。このとき、縦 $0.1\mu\text{m}$ 、横 $100\mu\text{m}$ の画像が1M/秒の速度で出力されることになるため、ステージの連続移動速度もこれと同じ速度($0.1\mu\text{m}/1\mu\text{sec} = 100\text{mm/sec}$)としている。このように、検査領域のx方向移動はステージ8を移動させることにより行う。一方、1ショットの照射領域は $5\mu\text{m}$ 角であるので、図10のように、照射領域のy方向移動は電子線を走査して行う必要が生じる。すなわち、ステージ8がx方向に1ショット分($5\mu\text{m}$)だけ移動する間に電子ビームをy方向に $100\mu\text{m}$ 走査する必要がある。1ショットの所要時間を $2.5\mu\text{sec}$ とすると、y方向に $100\mu\text{m}$ (20ショット分)を走査するには $50\mu\text{sec}$ 必要となる。一方、ステージ8のx方向移動速度は 100mm/sec であるから、ステージ8がx方向に1度1ショット分($5\mu\text{m}$)移動するに要する時間は $50\mu\text{sec}$ となる。このように、x方向に1ショット分($5\mu\text{m}$)のステージ移動に要する時間とy方向に20ショット分($100\mu\text{m}$)の電子ビーム走査に要する時間とを一致させ、無駄時間が生じるのを防いでいる。この方法によって試料表面積 1cm^2 の画像を取得するには、上述の $5\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の単位走査領域についての走査所要時間($50\mu\text{sec}$)の 2×10^5 倍を要することになるので、試料表面積 1cm^2 当たりの検査所要時間は 10sec となる。なお、TDIセンサからの信号出力速度が上記した例の2倍の2Mライン/秒を実現できれば、検査所要時間はその半分の 5sec となる。

【0060】上述したように、本実施例では、TDIセンサの信号出力速度から決まるステージの移動速度が 100mm/sec であるから、十分ステージ移動による検査領域のx方向移動が可能である。しかもその間に電子ビームの検査領域上y方向走査のための十分な時間を確保できる。また、本実施例では、検査速度を決めてい

るのはTDIセンサの信号出力速度であるため、この信号出力速度が改善されれば、さらに高速での検査が実現できる。

【0061】〈実施例6〉先の実施例1～5では、半導体試料表面に減速した電子線を照射していたが、本実施例では、電子線が試料表面に入射せずに試料表面直前で反射されてしまうように、試料表面に電子線の加速電圧よりも僅かに高い負電位を印加する。試料表面画像の形成には、この試料直前で反射された電子を用いる。その他は、先の第1の実施例の場合と全く同様である。近年半導体プロセスにCMP、CML等の表面研磨加工プロセスが導入されつつあり、半導体試料表面の凹凸が平坦化される傾向にある。本実施例では、このような平坦化プロセス後の表面の微妙な凹凸を、先の実施例1の場合に比較して、非常に感度よく検出することができる。すなわち、本実施例の特徴は、先の実施例1、2、3に比べ、試料に印加する負電圧をより高くする。これにより照射電子が実際には半導体試料内に入射せずに、試料表面に存在している原子核や電子と相互作用して試料表面の直前で反射されてしまうような条件に設定している。かかる条件の下で検査することにより、表面の微妙な凹凸の変化として現れるプロセスの欠陥を実施例1の場合よりもさらに感度良く検出できる等の利点が得られる。

【0062】〈実施例7〉先の実施例1～6においては、蛍光板を用いて電子線画像を光学像に変換した後、光センサ(CCDやTDI)センサで画像検出していた。本実施例では、電子線に対し直接感度のあるセンサ57を用いることにより、先の実施例1～4における蛍光板と光ファイバー束とを省略したものである。その構成図を図11に示す。センサ57の断面構造は、通常の光センサの受光面の最表面に数百オングストロームの導電膜を施したものである。これにより、試料表面の電子線による画像を直接に検出できるので、先の実施例1～4におけるような光ファイバー束(または、それに代わる光学レンズ)や蛍光板等が不要となり、装置構成が簡単になる。そのため誤差要因が減少し、より信頼性の高い検査が可能となる。

【0063】〈実施例8〉先の実施例1～5、および7では、半導体試料7に負の電位を印加し、試料に照射される電子のエネルギーを小さくすることで、試料から放出される後方散乱電子のエネルギー分散を小さくする効果が得られるようにしていた。本実施例では、新たにエネルギーフィルタ31を半導体試料7から結像レンズ11に到る間に設けて、検査画像を形成する電子のエネルギー分散をさらに小さくしている。その装置構成例を、図12に示す。エネルギーフィルタ31には、静電偏向と電磁偏向とを組み合わせたウィーンフィルタと呼ばれるものをを用いた。このウィーンフィルタは、ある特定エネルギーの電子ビームに対して静電偏向作用と電磁偏向作用とが相殺し合ってビームを偏向させずに直進させる

よう機能する。従って、このエネルギーフィルタ31の後段の結像レンズ11の後方に絞り32を設けることによって、特定のエネルギーの電子ビームのみがこの絞り32の開口を通過して試料電子線像を形成することができる。従って、結像レンズ11や拡大レンズ13、14での色収差が低減され、センサ57(または蛍光板15)上に形成される画像の分解能が向上すると云う効果がある。

【0064】〈実施例9〉第9の実施例として、図13に示すように、第3の実施例の検査装置に対して試料からの二次電子または反射電子を取得する高速の半導体検出器、電子ビーム高速走査偏向系、走査偏向と同期して検出信号から二次元画像を形成する走査画像形成回路、試料からの二次電子または反射電子を一括照射結像用検出系か、または高速の半導体検出器へ偏向させる偏向制御系を付加させて構成した。さらに、電子ビームの収束系にも制御をかけ、100nAの大電流ビームを0.1 μ m程度に細く絞って100MHz程度的高速取込みで画像を形成出来るように構成した。そのために、可動絞りには細束ビーム用の円形開口を施した。試料ウェハのパターンが段差を有するパターンである場合、第1から4の実施例で実行した矩形ビームの一括照射結像では段差における像の歪みが大きくなりすぎ、画像比較による欠陥検査において精度が落ちるという問題があるが、この実施例により、電子ビームを細く絞って走査画像で画像比較検査を行うことで段差を有するパターンでも高精度な欠陥検査が可能になった。したがって、パターンなし、平坦ウェハでは一括照射結像のしきい値比較、パターン有りの平坦ウェハでは一括照射結像の画像比較、表面に段差パターン有りの場合には走査画像による画像比較を行うことで、多種類のウェハ表面状態に対し、欠陥検査を高感度に行うことが可能になった。

【0065】〈実施例10〉さらに、第10の実施例として、第9の実施例に対し電子ビームの発生手段、収束、偏向手段等の電子光学系を2式持つように追加して構成させ、検査装置を実施した。本実施例の構成を図14に示す。本実施例では、一括照射結像用のビームと電子光学系、走査画像用のビームと電子光学系をそれぞれ最適条件で動作させられるように分けて持たせた。電子源には、一括照射結像用には第2の実施例と同様に先端部に1 μ m ϕ 以上の平坦部を有するLaB6熱電子源、走査画像取得用には放射角電流密度が高く、細く安定した大電流ビームが得られる拡散補給型熱電界放出型Zr/O/W電子源を用いた。これにより、それぞれのビーム照射条件に好適な電子ビームを得ることが出来、さらなる検査感度の向上が図れた。その他の装置の動作制御のさせ方は、第9の実施例と同様である。

【0066】また、これらの電子ビームを、一方を検査画像取得用に試料に照射させ、他方を試料の帯電状態を安定させるための予備照射に使うことも可能な制御系に

した。これにより、試料の帯電状態を所望の状態にして検査ができ、試料の電位状態を含めた検査が可能になった。

【0067】〈実施例11〉本実施例では、先の実施例7(図11)、実施例8(図12)において利用したセンサ57と同様の機能を有し、中心にビーム通過孔が設けられた絞り兼センサ204を、丁度半導体試料7における電子線照射領域の逆空間像(フーリエ変換像)が形成される位置に設置した。本実施例の構成を図15に示す。この絞り兼センサ204からの電子線強度分布像(信号)は、信号切換装置205を介して画像処理部104内の画像記憶部18、19に入力されるようにしてある。すなわち、この信号切換装置205は、制御計算機29からの制御信号を受けて絞り兼センサ204からの画像信号およびCCD17からの画像信号の何れか一方を選択して画像処理部104内の画像記憶部18、19に供給するよう機能する。

【0068】半導体試料7表面の電子線照射領域の逆空間像(フーリエ変換像)は、試料表面から同一散乱角で放出した後方散乱電子が対物レンズ6により一点に結像される面に形成される。一般に半導体試料表面に形成された回路パターンは規則正しい繰り返し構造を基本としているため、その逆空間像は少数のスポットや線から成る単純なものである。従って、互いに異なる領域の逆空間像間での比較は、それぞれ対応する実空間像間での比較よりも容易である。そこで、この逆空間像比較を用いることにより、実空間像比較を利用する場合に比べ、電子線照射領域内における欠陥の有無の判定をより効率的かつ高信頼度で実行できる。しかし、言うまでもなく、上述したような逆空間像の比較からは電子線照射領域内のどの位置に欠陥が存在しているのかを特定することはできない。そこで、本実施例では、先ず、絞り兼センサ204からの逆空間像信号を用いての比較検査によって簡便かつ迅速に検査対象領域内での欠陥の有無を判定する。次いで、CCDセンサ17からの実空間像信号を用いての比較検査によって、その欠陥の存在位置を正確に同定できるようにした。これにより、実空間像比較による詳細な欠陥位置同定に先立って欠陥発生領域の概略を簡便に知ることができ、欠陥検査の効率化が達成される。

【0069】ここで、絞り兼センサ204を設置する位置は、電子線照射領域の逆空間像が形成される位置でさえあれば、必ずしも本実施例のように対物レンズの後段位置のみに限定されないことは言うまでもない。また、先の実施例1~10においても本実施例と同様な構成変更を行うことによって、本実施例と同様な効果を実現できることも言うまでもない。

【0070】

【発明の効果】本発明によれば、電子線によるウェハパターン検査装置の検査速度が飛躍的に高速化する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 2】本発明の効果を説明するための放出電子のエネルギー分布図。

【図 3】本発明の第 1 の実施例になる検査装置の一構成要素である CCD センサの動作説明図。

【図 4】本発明の第 2 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 5】本発明の第 2 の実施例になる検査装置における試料近傍の電界および電子軌道の説明図。

【図 6】本発明の第 2 の実施例になる検査装置の検査画像説明図。

【図 7】本発明の第 3 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 8】本発明の第 2 および第 3 の実施例になる検査装置の検査方法の概念説明図。

【図 9】本発明の第 4 の実施例による検査装置の動作説明図。

【図 10】本発明の第 5 の実施例になる検査装置の一構成要素である TDI センサの動作説明図。

【図 11】本発明の第 7 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 12】本発明の第 8 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 13】本発明の第 9 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【図 14】本発明の第 10 の実施例になる検査装置の概略構成図。

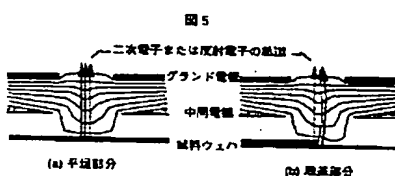
【図 15】本発明の第 11 の実施例になる検査装置の概略構成図。

【符号の説明】

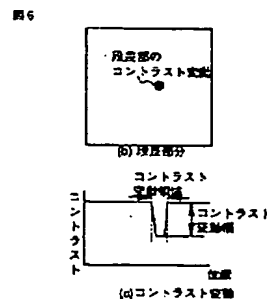
- 1 : 電子源,
- 2 : コンデンサレンズ,
- 3 : 偏向器,
- 4 : 絞り,
- 5 : 照射系偏向器,

- 6 : 対物レンズ,
- 7 : 試料,
- 8 : X-Y- θ ステージ,
- 9 : 電源,
- 10 : 結像系偏向器,
- 11 : 結像レンズ,
- 12 : 電子像,
- 13 : 拡大レンズ,
- 14 : 拡大レンズ,
- 15 : 蛍光板,
- 16 : 光ファイバー束,
- 17 : CCD,
- 18 : 画像記憶部,
- 19 : 画像記憶部,
- 20 : 演算部,
- 21 : 欠陥判定部,
- 22 : モニタ,
- 23 : 加速電源,
- 24 : 走査信号発生器,
- 25 : 対物レンズ電源,
- 26 : 試料高さ測定器,
- 27 : ステージ位置測定器,
- 28 : ビーム制御系,
- 29 : 制御計算機,
- 30 : 光学顕微鏡,
- 31 : エネルギーフィルタ,
- 32 : 絞り,
- 57 : 電子線画像センサ,
- 101 : 電子光学系,
- 102 : 試料室,
- 103 : 画像検出部,
- 104 : 画像処理部,
- 105 : 制御部,
- 204 : 絞り兼センサ,
- 205 : 信号切換装置,
- 300 : 電極,
- 301 : 電極。

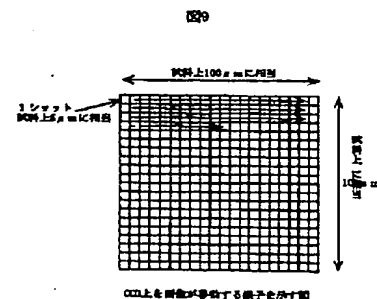
【図 5】



【図 6】

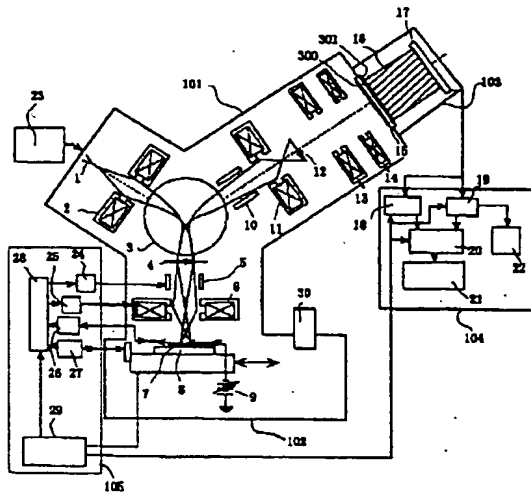


【図 9】



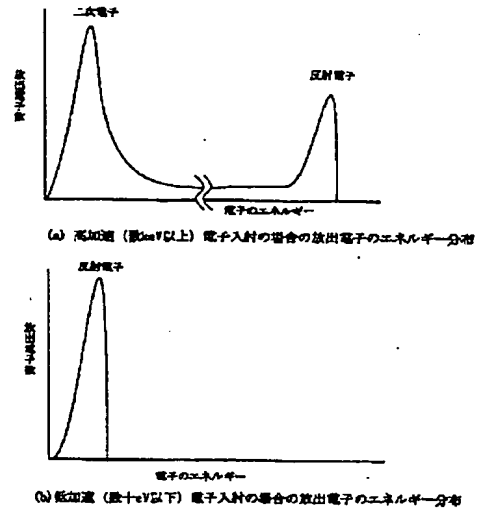
【図1】

図1



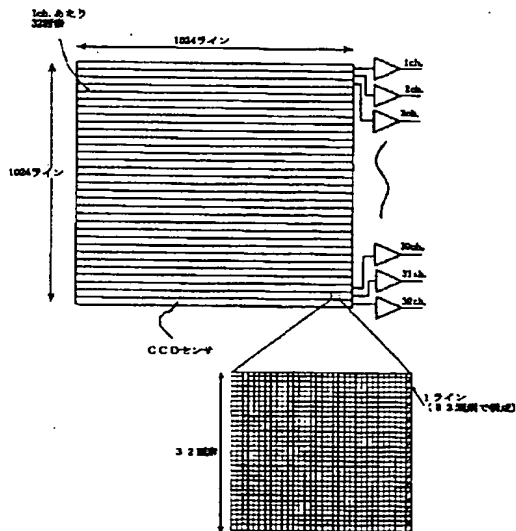
【図2】

図2



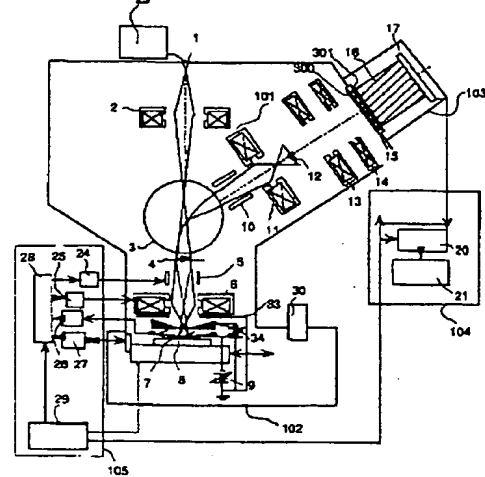
【図3】

図3

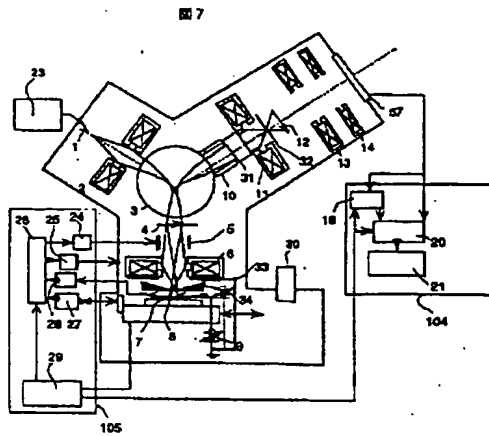


【図4】

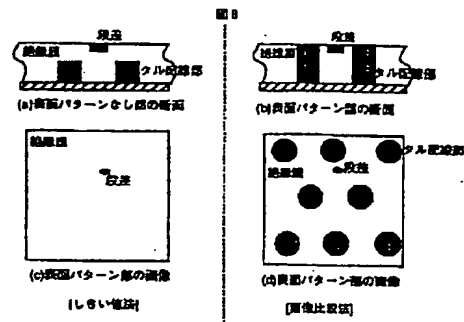
図4



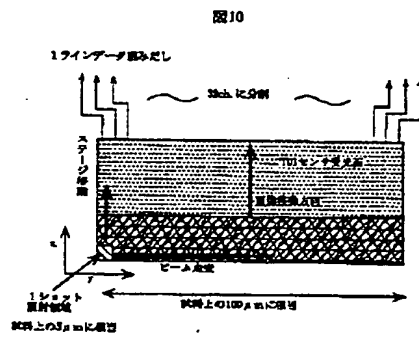
【図7】



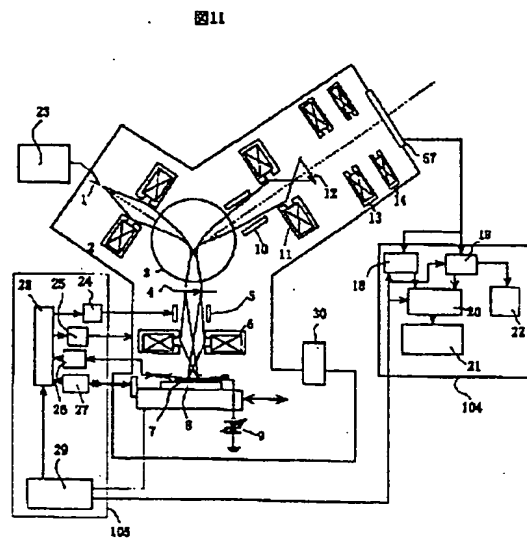
【図8】



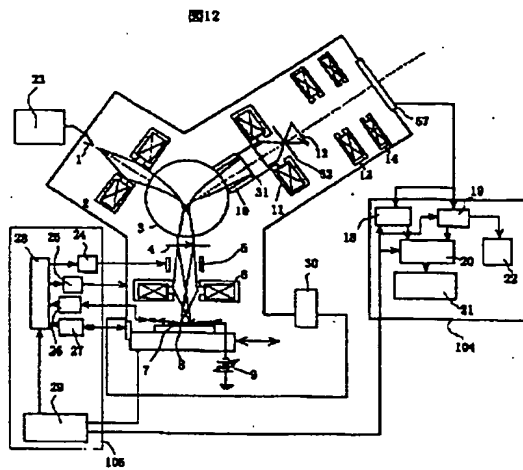
【図10】



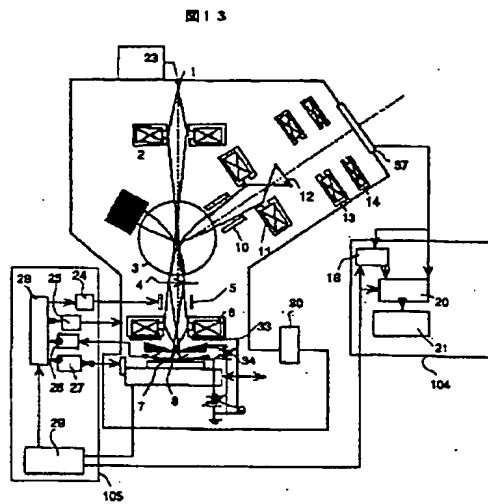
【図11】



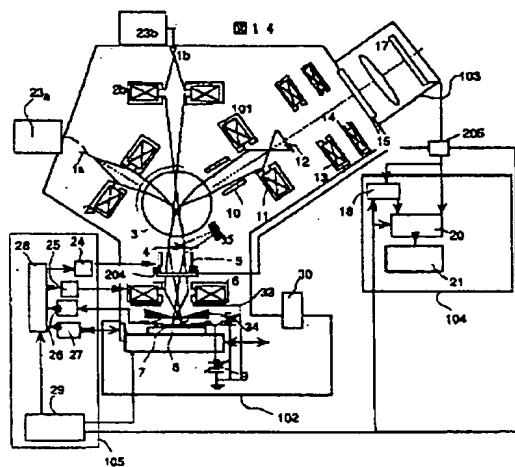
【図12】



【図13】



【図14】



(72)発明者 野副 真理
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 長谷川 正樹
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 梅村 馨
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 片桐 創一
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 杉山 勝也
東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株
式会社日立メディコ内

(72)発明者 黒田 勝広
東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株
式会社日立メディコ内

(72)発明者 宇佐見 康継
茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会
社日立製作所計測器事業部内

Fターム(参考) 2G032 AA00 AE08 AE12 AF04 AF08
4M106 AA01 BA02 CA39 DB02 DB05
DJ04 DJ06 DJ11 DJ14 DJ18
DJ21
5C030 AA01 AB02
5C033 AA05 BB01 NN01 NN10 UU02
9A001 HH24 JJ45 KK54 LL02